



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-082048

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

(51)Int.Cl. G11B 21/02
G11B 21/10

(21)Application number : 07-234513

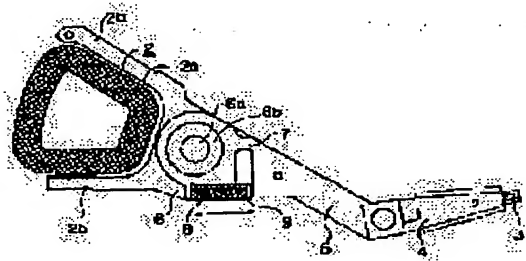
(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 12.09.1995

(72)Inventor : YOSHIKAWA NORIO
TAKEKADO SHIGERU
YAMADA TAKEHITO**(54) HEAD ACTUATOR MECHANISM APPLIED TO DISC-RECORDING/
REPRODUCING APPARATUS AND DRIVING CONTROL METHOD THEREFOR****(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To highly accurately position a head, by eliminating adverse influences due to characteristic irregularities of an auxiliary actuator and a complication of a control method, and stably controlling/positioning the head up to a high frequency band, in a head actuator mechanism of a type provided with a primary actuator and the auxiliary actuator.

SOLUTION: In the head actuator mechanism having a primary actuator using a VCM 2 as a driving means and an auxiliary actuator using a piezoelectric element 8 as an auxiliary driving means, the piezoelectric element 8 is arranged approximately at a position of the center of gravity of the mechanism, minutely driving supporting arms 5 simultaneously. In this constitution of the mechanism, each head 3 is adjusted to be moved minutely. At least one piezoelectric element 8 is provided, which minutely drives integrally and uniformly a plurality of supporting arms 5 supporting a plurality of heads 3 via suspensions 4.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-82048

(43) 公開日 平成9年(1997) 3月28日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 21/02	6 0 1	9559-5D	G 1 1 B 21/02	6 0 1 A
		9559-5D		6 0 1 G
21/10		8524-5D	21/10	N

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平7-234513

(22) 出願日 平成7年(1995) 9月12日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 吉川 紀夫

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 竹門 茂

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 山田 健仁

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

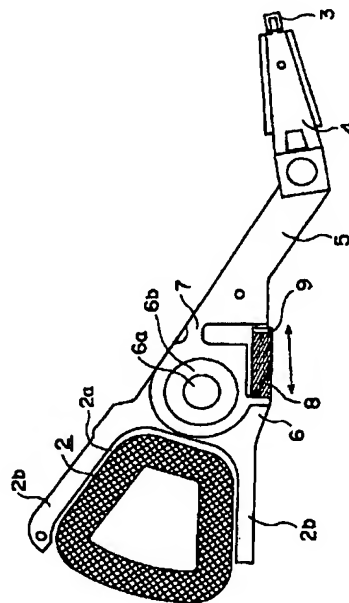
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 ディスク記録再生装置に適用するヘッドアクチュエータ機構及びその駆動制御方式

(57) 【要約】

【課題】 主要アクチュエータと補助アクチュエータとを備えた方式のヘッドアクチュエータ機構において、補助アクチュエータの特性のばらつきによる悪影響や制御方式の複雑化を解消し、高周波数帯域までヘッドを安定に位置決め制御できるようにして、結果的に高精度のヘッド位置決め動作を実現することにある。

【解決手段】 VCM2を駆動手段とする主要アクチュエータと圧電素子8を補助駆動手段とする補助アクチュエータとを有する方式のヘッドアクチュエータ機構において、圧電素子8を機構のほぼ重心位置に配置し、各支持アーム5を同時に微小駆動して各ヘッド3の微小移動調整を行なうように構成した機構である。圧電素子8は少なくとも1個であり、各サスペンション4を介在して複数のヘッド3を支持している複数の支持アーム5を一体的かつ均一的に微小駆動する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディスクにデータの記録再生を行なう複数のヘッドを搭載し、前記各ヘッドを前記ディスクの半径方向に移動させて、目標位置に位置決めするためのディスク記録再生装置のヘッドアクチュエータ機構であって、

前記各ヘッドのそれぞれを支持する複数のサスペンション部材と、

前記各サスペンション部材を支持する複数の支持アーム体からなり、前記各ヘッドを移動させる回転駆動力を伝達するヘッドアーム部材と、

前記ヘッドアーム部材を回転駆動して、前記各ヘッドを移動させる駆動力を発生するための主要駆動手段と、機構のほぼ重心位置に配置されて、前記各支持アーム体を同時に微小駆動して前記主要駆動手段により移動した各ヘッドの微小移動調整を行なうための補助駆動手段とを具備したことを特徴とするヘッドアクチュエータ機構。

【請求項2】 ディスクにデータの記録再生を行なう複数のヘッドを搭載し、前記各ヘッドを前記ディスクの半径方向に移動させて、目標位置に位置決めするためのディスク記録再生装置のヘッドアクチュエータ機構であって、

前記各ヘッドのそれぞれを支持する複数のサスペンション部材と、

前記各サスペンション部材を支持する複数の支持アーム体からなり、前記各ヘッドを移動させる回転駆動力を伝達するヘッドアーム部材と、

前記回転駆動力を発生するための主要駆動手段と、前記ヘッドアーム部材を支持して、前記主要駆動手段の回転駆動力により回転駆動して、前記各支持アーム体を介して前記各ヘッドを移動させるためのアクチュエータ本体と、

機構のほぼ重心位置で前記アクチュエータ本体に配置されて、前記各支持アーム体を同時に微小駆動して前記主要駆動手段により移動した各ヘッドの微小移動調整を行なうための補助駆動手段と、

前記補助駆動手段の微小駆動力により、前記ヘッドアーム部材を微小回転運動させる機構であって、前記アクチュエータ本体に設けられたヒンジ機構とを具備したことを特徴とするヘッドアクチュエータ機構。

【請求項3】 前記各ヘッドのそれぞれを支持する複数のサスペンション部材と、前記各サスペンション部材を支持する複数の支持アーム体からなり、前記各ヘッドを移動させる回転駆動力を伝達するヘッドアーム部材と、前記ヘッドアーム部材を回転駆動して、前記各ヘッドを移動させる駆動力を発生するための主要駆動手段と、機構のほぼ重心位置に配置されて、前記各支持アーム体を同時に微小駆動して前記主要駆動手段により移動した各ヘッドの微小移動調整を行なうための補助駆動手段とを

備えたヘッドアクチュエータ機構であって、

前記主要駆動手段と前記補助駆動手段とを駆動制御する制御系において、各入力に対する応答ゲインを調整して、ディスクの半径方向に振動する共振モードを解消して、高周波数帯域まで前記各ヘッドを安定に位置決め制御するようにしたことを特徴とするヘッドアクチュエータ機構の駆動制御方式。

【請求項4】 前記各ヘッドのそれぞれを支持する複数のサスペンション部材と、前記各サスペンション部材を支持する複数の支持アーム体からなり、前記各ヘッドを移動させる回転駆動力を伝達するヘッドアーム部材と、前記ヘッドアーム部材を回転駆動して、前記各ヘッドを移動させる駆動力を発生するための主要駆動手段と、機構のほぼ重心位置に配置されて、前記各支持アーム体を同時に微小駆動して前記主要駆動手段により移動した各ヘッドの微小移動調整を行なうための補助駆動手段とを備えたヘッドアクチュエータ機構に適用する駆動制御方式であって、

前記主要駆動手段と前記補助駆動手段とを前記各ヘッドの位置誤差信号に基づいて駆動制御して、前記各ヘッドの位置決め制御を実行するフィードバック制御系において、前記主要駆動手段と前記補助駆動手段に対して前記位置誤差信号を所定の低周波数領域での位相を相互に逆相にして入力し、各入力に対する応答ゲインを調整してディスクの半径方向に振動する共振モードを解消するようにしたことを特徴とする駆動制御方式。

【請求項5】 前記補助駆動手段は、少なくとも1個の圧電素子からなることを特徴とする請求項1または請求項2記載のヘッドアクチュエータ機構。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばハードディスク装置等のディスク記録再生装置において、データの記録再生を行なうためのヘッドをディスクの半径方向に移動して、目標位置に位置決めするためのヘッドアクチュエータ機構に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、特に小型のハードディスク装置(HDD)は、ラップトップ型やノートブック型パーソナルコンピュータの内蔵型外部記憶装置として使用されている。近年、パーソナルコンピュータの高性能化に伴って、小型でかつ大記憶容量のHDDに対する要求が高まっている。

【0003】HDDの記憶容量を増大化するには、記録媒体であるディスクのトラック密度と線記録密度とを向上させて、ディスクの高記録密度化を図ることが必要である。この高記録密度化に伴って、ディスク上のアクセス対象である目標位置(トラック)に、ヘッドを高精度に位置決めする技術が重要となる。

【0004】HDDでは、大別して速度制御と位置制御

10

20

30

40

50

とを行なうサーボシステムにより、ヘッドの位置決め制御が実行される。サーボシステムは、ヘッドを支持してディスクの半径方向に移動させるヘッドアクチュエータを駆動制御することにより、ヘッドを目標位置に位置決めする。

【0005】このため、ヘッドの高精度の位置決め制御を実現するために、制御技術と共に、ヘッドアクチュエータの機構上の各種の工夫が試みられている。

【0006】従来の小型のHDDは、図13に示すように、アルミ合金等のケース100の内部に、ディスクドライブを構成する回転揺動型のヘッドアクチュエータ1、ディスク101、スピンドルモータ102、ボイスコイルモータ（VCM）2、および回路基板103等を内蔵している。

【0007】ディスク101はスピンドルモータ102により高速回転運動する。回路基板103は、ヘッド3からのリード信号を増幅するヘッドアンプ等の各種回路部品を実装している。

【0008】ヘッドアクチュエータ1は、ヘッド3を支持しているサスペンション4と、サスペンション4を支持して回転駆動力を伝達するための支持アーム（ヘッドアーム）5と、支持アーム5を支持してVCM2の駆動力により回転軸6aを中心として回転駆動するアクチュエータ本体6とからなる。

【0009】ここで、HDDでは通常、複数枚のディスク101が設けられており、各ディスク101の両面のそれぞれにヘッド3が配置される。したがって、サスペンション4は各ヘッド3毎に設けられている。また、支持アーム5は、ヘッド3の個数に従って、それより少ない個数からなる。

【0010】ヘッド3はスライダに実装されており、このスライダの浮上動作によりディスク101の表面から定の微小間隔を以てリード／ライト動作を実行する。

【0011】VCM2は、略V字型構造のコイル枠に設けられた駆動コイルと、永久磁石と、対向ヨークとからなる構成されている。磁気回路を構成する永久磁石と対向ヨークは、支持アーム5のコイル枠上に保持された駆動コイルを挟み込むように、上下方向に配置されている。永久磁石は保持ヨークにより支持されている。

【0012】VCM2は、永久磁石と対向ヨークとの間に生じる磁界内に配置した駆動コイルに通電して、この駆動コイルに発生する電磁力の作用により、アクチュエータの支持アーム5を回転軸6aを中心として回転揺動させる。アクチュエータ本体6には、回転揺動するためのボールベアリングが設けられている。

【0013】サーボシステムは、ディスク101のサーボエリアに予め記録されたサーボデータに基づいて、VCM2の駆動電流を制御して、ヘッドアクチュエータの駆動制御を実行する。

【0014】ところで、ヘッドアクチュエータを高精度

に駆動して、ヘッド3を目標位置に高精度に位置決めする際の障害要因として、ヘッドアクチュエータを構成する支持アーム5等の構成要素に発生する機械的振動がある。

【0015】ここで、サーボシステムがVCM2の駆動コイルに電流を流して、ヘッドアクチュエータをディスクの半径方向に駆動するとき、サーボデータの位置誤差信号（バーストデータ）との周波数上の伝達特性（力に対する変位の応答で、コンプライアンスと呼ばれている）は、図14に示すような特性となる。

【0016】位置誤差信号は、前述の位置制御に使用されるサーボデータであり、トラックの中心に対するヘッド3の位置誤差を検出するためのデータである。

【0017】この場合、伝達特性上で大きく分けて、共振によるゲインのピークは、100Hz付近にはアクチュエータ本体6に設けられたボールベアリングの転がり摩擦特性によるものがあり、4KHz付近にはアクチュエータ構造自体の主共振モードによるものがある。図15は、図14の伝達特性の周波数4KHz付近の主共振モードの変形図であり、コンピュータにより求められた解析モデルである。

【0018】この解析モデルにより、アクチュエータ構造自体の主共振モードは、VCM2の駆動コイルと駆動コイルを保持しているコイル枠とが、ディスク101の回転（円周）方向に変動するモードにより発生すると推定できる。

【0019】このような1KHz以上の高周波数でのアクチュエータ構造体による振動は、ヘッド3の位置決め制御を行なうサーボシステムに悪影響を及ぼし、オフトラックなどの誤動作の原因となる。

【0020】換言すれば、アクチュエータ構造体による振動は、ヘッド3の位置決め精度の低下の要因となり、特にトラック方向の記録密度（トラック密度）の低下を招くことになる。したがって、サーボシステムに対する悪影響を極力低減するために、ヘッドアクチュエータ機構において、無用な構造による機械的振動を極力排除し、かつ支持アーム5等の共振振動数を高めるなどの工夫が必要となる。

【0021】また、トラック密度の高密度化のためには、トラックピッチをできるだけ小さくすることが望ましいが、データの記録再生の信頼性を高める（リードエラーの発生確率の低下）ためには、ヘッド3のトラック追従性（トラック中心に対する位置決め特性）を高める必要がある。通常では、トラック誤差（オフトラック量：標準偏差の約3倍とすると）を、トラックピッチに対して0.07倍程度にする必要がある。

【0022】さらに、HDDの外部からの振動や、HDDの内部で発生する要因として、スピンドルモータ102からの外力に対するオフトラックを極力小さくする必要がある。このためには、サーボシステムの開ループ特

10

20

30

40

50

性でのゲイン交差周波数（ゲインが0dBをよぎる周波数）をできるだけ高くする必要がある。

【0023】このようなサーボシステムの開ループ特性でのゲイン交差周波数を高くするための方法として、例えば特開昭51-36924号公報と特開昭51-36924号公報に記載されているものがある。また、電子情報通信学会論文誌（Vol. J75, No. 11, 653頁～662頁）の文献に掲載されている「磁気ディスク装置2ステージアクセスサーボ系のトラック追従制御」の論文にも記載されている。

【0024】前記の公報及び文献では、複数のヘッドを一体的（同時に）に長ストローク移動させる主要（メイン）アクチュエータ機構（前記のVCM2による駆動）に加えて、さらに個々のヘッド毎に独立に微小移動させる補助（サブ）アクチュエータ（圧電素子から構成されている）を設ける方式が提案されている。

【0025】この方式については、例えば特開昭51-39012号公報にも記載されている。この公報の方式は、重い質量部の主要アクチュエータは低い周数帯域で可動し、また軽量の補助アクチュエータは高周波数帯域で可動するように、2重サーボ方式によりヘッドが狭トラックピッチに追従するように構成されている。

【0026】さらに、特開昭51-36924号公報、特開平3-69072号公報、特開平3-102684号公報、特開平3-183070号公報には、ヘッドを支持する支持アーム毎にサブアクチュエータを搭載した方式が記載されている。この方式は、サブアクチュエータにより、個々のヘッドが別々に移動できるような構成である。

【0027】特開平3-69072号公報、特開平3-102684号公報、特開平3-183070号公報には、サーボ面サーボ方式に適用した場合について記載されており、いわゆる熱オフトラックの補正手段としてサブアクチュエータが使用されている方式が記載されている。

【0028】熱オフトラックは、複数本ある支持アームが装置内外の温度上昇によって、ディスクの半径方向にそれぞれ変形してしまう減少により発生する。このた

め、サーボ面の位置情報と、各データ面に僅少セクタの情報に基づいて、データヘッドをDC成分だけ補正する手法が用いられている。このために、各支持アーム毎にサブアクチュエータを配置する必要があり、さらにそのアクチュエータを個々に制御している。

【0029】図16は、前記の主要アクチュエータと補助アクチュエータとからなるアクチュエータ機構を、各アクチュエータ部分のバネ・質点系の簡易モデル（振動モデル）として表現した概念図である。

10 【0030】このモデルは、VCM2の駆動コイル111が質量 m_1 を持ち、この質点に電磁力 F_1 が作用し、コイル枠のバネ K_1 によって、アクチュエータの回転中心113に接合されて回転移動することを想定している。回転中心113にはボールベアリングによる転がり摩擦力によるバネ K_a と、アクチュエータの極慣性モーメント J を持つ。また、アクチュエータの回転中心113から腕の長さ L_2 の先端に補助アクチュエータに相当する圧電素子モデル114が設けられている。

20 【0031】この部分には、圧電素子114が引張り（もしくは圧縮）方向に作用する並進力 F_2 がそれぞれ両端にかかる。さらに回転中心113との反対側には、支持アーム部とサスペンション部分のモデル116が設けられている。

【0032】このモデル116は、支持アームとサスペンションを単一と見做し、質量 m_3 とバネ k_3 により表現している。

30 【0033】なお、図中の c_1 と c_2 は粘性減衰を示す。また、 x_1 は駆動コイル111の並進方向変位を示し、 x_2 は圧電素子モデル114の変位を示し、 x_3 はヘッド点の変位を示し、 θ はアクチュエータの回転中心113回りの回転角変位を示す。

【0034】さらに、棒は無質量の剛体を想定する。 x_4 は「 $x_4 = -L_1\theta$ 」、 x_5 は「 $x_5 = L_2\theta$ 」、 x_6 は「 $x_6 = x_2 + L_3\theta$ 」である。

【0035】このような振動モデルは、以下の関係式（数1～数4）が成立する。

【0036】

【数1】

$$[M] \{X\} + [C] \{X\} + [K] \{X\} = \{F\} \quad \dots (1)$$

$$\{X\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \theta \end{Bmatrix} \quad \{F\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ 0 \\ -F_2 L_2 \end{Bmatrix}$$

$$[M] = \begin{Bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J \end{Bmatrix}$$

$$[C] = \begin{Bmatrix} c_1 & 0 & 0 & c_{1L1} \\ 0 & (c_2+c_3) & -c_3 & (c_{3L3}-c_{2L2}) \\ 0 & -c_3 & c_3 & -c_{3L3} \\ c_{1L1} & (c_{3L3}-c_{2L2}) & -c_{3L3} & (c_a+c_{1L1}^2+c_{2L2}^2+c_{3L3}^2) \end{Bmatrix}$$

$$[K] = \begin{Bmatrix} k_1 & 0 & 0 & k_{1L1} \\ 0 & (k_2+k_3) & -k_3 & (k_{3L3}-k_{2L2}) \\ 0 & -k_3 & k_3 & -k_{3L3} \\ k_{1L1} & (k_{3L3}-k_{2L2}) & -k_{3L3} & (k_a+k_{1L1}^2+k_{2L2}^2+k_{3L3}^2) \end{Bmatrix}$$

$$\omega_1^2 = k_1/m_1, \omega_2^2 = k_2/m_2, \omega_3^2 = k_3/m_3, \omega_a^2 = k_a/J$$

$$\omega_{a1}^2 = k_{1L1}^2/J, \omega_{a2}^2 = k_{2L2}^2/J, \omega_{a3}^2 = k_{3L3}^2/J$$

【0037】ここで、上式をラプラス変換し、応答
(X) について求めると、以下のようになる(式中のS
は、ラプラス演算子である)。

* 【0038】

【数2】

* 30

$$\{X\} = [[M] S^2 + [C] S + [K]]^{-1} \{F\} \quad \dots (2)$$

【0039】ここで、粘性減衰項を全て0と仮定して0
次近似し、さらに、主要アクチュエータの駆動コイル1
11に電磁力F1が作用した場合と、補助アクチュエー
タの圧電素子114に電磁力F2が作用した時に、ヘッ
ドの応答変位x3に注目すると、以下のような式とな ※

※。式中でdetは固有値を意味する。また、主要アク
チュエータによるヘッドの応答x3(S)はそれぞれ以下
のようになる。

【0040】

【数3】

$$x_3(S) = \frac{-1}{\det} \cdot \frac{L_{1L2}}{J} \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2 \left\{ \frac{L_{2L3}}{L_3} + \frac{S^2}{\omega_2^2} \right\} F_1(S)$$

$$P_1(S) = \frac{x_3(S)}{F_1(S)} \quad \dots (3)$$

【0041】

【数4】

$$\begin{aligned}
 x_3(s) &= \frac{1}{\det} \cdot \frac{\omega_3^2}{m_2} \{ \omega_3^2 \omega_1^2 + (\omega_3^2 + \omega_1^2 + \omega_1^2 (1 - \frac{m_2 L_2 L_3}{J})) s^2 \\
 &\quad + (1 - \frac{m_2 L_2 L_3}{J}) s^4 \} F_2(s) \quad \dots (4) \\
 P_2(s) &= \frac{x_3(s)}{F_2(s)}
 \end{aligned}$$

ここで、実際のアクチュエータ機構より、モデルのパラメータを以下のようにした。

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 2.5 \times 10^{-3} (\text{kg}), \quad \omega_1 = 25133 (\text{rad/sec}) \\
 m_2 &= 0.01 \times 10^{-3} (\text{kg}), \quad \omega_2 = 125664 (\text{rad/sec}) \\
 m_3 &= 0.5 \times 10^{-3} (\text{kg}), \quad \omega_3 = 753982 (\text{rad/sec}) \\
 J &= 0.5 \times 10^{-8} (\text{kgm}^2), \quad \omega_a = 251 (\text{rad/sec}) \\
 L_1 &= 15 \times 10^{-3} (\text{m}), \quad L_2 = 5 \times 10^{-3} (\text{m}), \quad L_3 = 40 \times 10^{-3} (\text{m})
 \end{aligned}$$

【0042】これらのパラメータを用いて、前記式 (3) により主要アクチュエータによるヘッド応答変位の伝達特性は、図17 (A), (B) に示すようなゲイン特性と位相特性となる。また、前記式 (4) により補助アクチュエータによるヘッド応答変位の伝達特性は、図17 (C), (D) に示すようなゲイン特性と位相特性となる。

【0043】図17において、粘性減衰によるダンピングがないので、共振によるゲインは高くなるが、ゲインでピークを持つ周波数はダンピングの有無により、ほとんど変化することはない。

【0044】図17 (A), (B) は、図14で示した伝達特性と傾向が似ており、100Hz以下の周波数付近に、ボールベアリングの転がり摩擦によるばね共振がある。この共振周波数を越えると、-40dB/decで、ゲインが減少し、約3KHzで、アクチュエータ構造全体の機械的主共振によるモードでゲインがピークとなる。この主共振モードは、駆動コイル111のm1とK1が要因となって発生するものと推定できる。

【0045】図17 (C), (D) は、補助アクチュエータによるコンプライアンスを示した図であり、前述の3KHzのアクチュエータ構造全体の機械的主共振モードまで、ゲインはほぼフラットである。しかし、補助アクチュエータを駆動することにより、アクチュエータ構造全体の機械的主共振モードを励起することが理解できる。これは、主要アクチュエータと補助アクチュエータとが直列バネにより接続されているために発生するものと推定できる。

【0046】以上のように、補助アクチュエータを使用する際には、アクチュエータ構造全体の機械的主共振モードを高める必要がある。換言すれば、補助アクチュエータで高帯域の周波数領域までフラットにするには、この主共振振動数に対して、サーボシステムにはノッチフィルタの構成要素が必要となる。

【0047】近年、小型のHDDでは、高速なマイクロプロセッサを用いたデジタルサーボシステムが実現されているため、ノッチフィルタの実装は容易になってきている。しかし、アクチュエータ構造全体の機械的主共振モードの周波数は、装置間によりばらつきがあり、また時間が経つにつれて変化(経時変化)することがある。このため、ノッチフィルタのノッチ周波数(通帯させない周波数)の設定が非常に困難である。したがって、装置間で位置決め誤差量がばらつき、また使用している期間に位置決め誤差量が大きくなるため、データの記録再生が不能になる可能性がある。

【0048】

【発明が解決しようとする課題】 前述したように、従来の主要アクチュエータと補助アクチュエータとを備えたヘッドアクチュエータ機構では、支持アーム毎に補助アクチュエータ(圧電素子)が設けられている。このような構成では、補助アクチュエータとして駆動手段となる圧電素子が支持アームの本数だけ必要となる。このため、各圧電素子の特性にばらつきがある場合には、ヘッドの微小移動やヘッド(スライダ)の浮上特性等にばらつきが生ずる可能性が高くなる。

【0049】また、補助アクチュエータを駆動するためのケーブルや駆動回路が支持アームの本数だけ必要となり、各補助アクチュエータを個々に制御するため、制御方式も複雑化する。

【0050】さらに、支持アーム毎に補助アクチュエータを駆動するため、アクチュエータ構造全体の主共振モードを誘起し、結果的にヘッド位置決め系でのサーボ帯域を高くすることができないことになる。

【0051】本発明の目的は、主要アクチュエータと補助アクチュエータとを備えた方式のヘッドアクチュエータ機構において、補助アクチュエータの特性のばらつきによる悪影響や制御方式の複雑化を解消し、高周波数帯域までヘッドを安定に位置決め制御できるようにして、

結果的に高精度のヘッド位置決め動作を実現することにある。

【0052】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面は、VCM等の主要駆動手段により駆動する主要アクチュエータと圧電素子等の補助駆動手段である補助アクチュエータとを有する方式のヘッドアクチュエータ機構において、補助駆動手段を機構のほぼ重心位置に配置し、各支持アーム体を同時に微小駆動して各ヘッドの微小移動調整を行なうように構成した機構である。

【0053】即ち、補助アクチュエータは少なくとも1個であり、各サスペンション部材を介在して複数のヘッドを支持している複数の支持アーム体を一体的に微小駆動する。

【0054】このような構成であれば、少なくとも1個の補助アクチュエータにより、複数の支持アーム体を一体的に微小駆動するため、各支持アーム体の駆動特性にばらつきが発生するような事態を大幅に抑制することができる。また、補助アクチュエータの駆動に必要なケーブルや駆動回路の部品点数の削減、および制御方式の簡略化を図ることができる。

【0055】本発明の第2の側面は、主要アクチュエータと補助アクチュエータの駆動制御方式に関し、各入力に対する応答ゲインを調整することにより、アクチュエータ機構全体の機械的主共振モードを打ち消し、高周波数帯域までヘッドを安定に位置決め制御するようにした駆動制御方式である。

【0056】このような駆動制御方式により、主要アクチュエータの駆動コイル側に起因する機械的主共振モードについて、補助アクチュエータの駆動により打ち消すことが可能となる。即ち、主要アクチュエータと補助アクチュエータとが構造的に直列バネで構成されていると想定した場合に、前記の機械的主共振モードを打ち消すことにより、主要アクチュエータのヘッド位置決め制御系の開ループ特性は、 -40 dB/dec の線上で、高周波数帯域までフラットな特性にすることが可能となる。これは、直列バネで構成されているため、主要アクチュエータから見た場合と、補助アクチュエータから見た場合の機械的主共振振動数が同じであるためである。これにより、装置毎の機械的主共振振動数にばらつきがあっても、ノッチフィルタ等による調整を不要にして、制御系の演算や回路系等の簡素化を図ることが可能となる。

【0057】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0058】図1は第1の実施形態に係るヘッドアクチュエータ機構の要部を示す平面図であり、図2はその側面図であり、図3は第1の実施形態に係るHDDの要部を示す平面図である。

【0059】(HDDの構成)第1の実施形態のヘッドアクチュエータ機構は、補助(サブ)アクチュエータとして機能する圧電素子8を有する回転揺動型の機構である。

【0060】本実施形態に適用する小型のHDDは、図3に示すように、アルミ合金等のケース100の内部に、本実施形態のヘッドアクチュエータ機構、ディスク101、スピンドルモータ102、VCM2、回路基板103、及びフレキシブルプリントケーブル(FPC)104等を内蔵している。後述する本実施形態のヘッドアクチュエータ以外の構成要素は、従来のHDDのものと同様である(図14を参照)。ケース100は密閉するために図示しないカバーにより覆われる。

【0061】ディスク101はスピンドルモータ102により一定速度で高速回転運動する。回路基板103は、ヘッド3からのリード信号を増幅するヘッドアンプ等の各種回路部品を実装している。FPC104は、ヘッド3とヘッドアンプとを接続するための信号線や、ヘッドアクチュエータ機構のVCM2や圧電素子8を駆動するためのケーブル等の配線パターンから構成されている。

【0062】また、ディスク101は通常では複数枚が設けられている。各ディスク101の両面のそれぞれに対向して、複数のヘッド3が配置される。

【0063】ヘッドアクチュエータ機構は、図示しないサーボシステム(サーボ回路とCPUとが主構成要素)により駆動制御されて、ディスク101の半径方向に回転駆動される。これにより、スライダに実装されているヘッド3は、ディスク101上を浮上した状態で、その半径方向に移動する。サーボシステムは、速度制御と位置制御からなるヘッド位置決め制御(サーボ系)を実行して、ヘッド3をディスク101上の目標位置(最終的にはトラック中心)に位置決めする。

【0064】(ヘッドアクチュエータ機構の構成)本実施形態のヘッドアクチュエータ機構は、図1に示すように、ヘッド3を先端部で支持している薄板状のサスペンション4と、サスペンション4を先端部で支持して回転駆動力を伝達するための支持アーム5と、支持アーム5を支持してVCM2の駆動力により回転軸6aを中心として回転駆動するアクチュエータ本体6とからなる。

【0065】アクチュエータ本体6は、ディスク101の半径方向に自在に回転揺動するように、回転軸6aの周囲の上下2箇所にボールベアリング6bを有する。

【0066】本実施形態のヘッドアクチュエータ機構は、主要駆動手段であるVCM2と補助駆動手段である圧電素子8とを有する。

【0067】VCM2は、略V字型構造のコイル棒2bに設けられた駆動コイル2aと、永久磁石と、対向ヨークとからなる構成されている。磁気回路を構成する永久磁石と対向ヨークは、コイル棒2b上に保持された駆動

コイル2aを挟み込むように、上下方向に配置されている。

【0068】圧電素子8は、図1に示すように、ディスク101の外径と干渉しない位置であるアクチュエータ本体6に設けられている。圧電素子8は、図2(A)に示すように、少なくとも1個であり、多くとも支持アーム5の個数より少ない数である。また、圧電素子8はアクチュエータ機構の上下方向の重心位置10の近傍に配置されている。

【0069】圧電素子8は、図1に示すように、駆動電圧の供給に応じて長手方向(矢印)に伸縮し、取り付け部材9を介在して全ての支持アーム5に対して微小回転駆動させる駆動力を発生する。この微小駆動を実現するために、本実施形態では、アクチュエータ本体6に対して、支持アーム5が微小に回転駆動させるためのヒンジ機構7が設けられている。

【0070】(第1の実施形態の作用効果) HDDのサーボシステムは、VCM2の駆動コイル2aに駆動電流を供給することにより、駆動コイル2aに発生する電磁力の作用により、アクチュエータ本体6を回転軸6aを中心として回転揺動させる。

【0071】即ち、主要アクチュエータであるVCM2によるアクチュエータ本体6が回転駆動して、各支持アーム5が一体的(同時)にディスク101の半径方向に駆動する。これにより、各ヘッド3がディスク101の半径方向に移動して、目標位置で位置決めされることになる。以上が主要アクチュエータの駆動である。

【0072】次に、サーボシステムは、補助アクチュエータである圧電素子8に駆動電圧を供給する。圧電素子8は駆動電圧の供給に応じて長手方向に、数 μ m程度伸縮し、引張り力または圧縮力を発生する。

【0073】したがって、図1に示すように、アクチュエータ本体6のヒンジ機構7にモーメント力が発生し、各支持アーム5を同時に微小に回転駆動させる。これにより、各ヘッド3は、通常では数トラック分の微小距離を移動して、微小位置調整がなされることになる。

【0074】このような圧電素子8の作用を利用した補助アクチュエータにより、各ヘッド3の微小移動調整を行なうことができる。圧電素子8は、前述したように、アクチュエータ機構の上下方向の重心位置10の近傍に配置されているため、各支持アーム5の上下方向の振動モードをほとんど励振しない構造である。

【0075】また、重心位置10の近傍に、少なくとも1個の圧電素子8が集散的に配置されているため、各支持アーム5を一体的に駆動できるため、各支持アーム5の移動特性は均一化される。

【0076】さらに、圧電素子8の個数は支持アーム5の個数と比較して少ないため、圧電素子8に駆動電圧を供給するためのケーブルや駆動回路は、必要最小限だけでよい。換言すれば、支持アーム5毎に圧電素子を設け

る従来の方式と比較して、大幅に圧電素子8の個数を減少化させることができる。

【0077】(第1の実施形態の応用例) 図2(B)は、圧電素子8の取り付け部材90の構造を示す図である。この取り付け部材90は、支持アーム5と圧電素子8との接合面近傍の厚みTH1を、それ以外の厚みTH2よりも厚くした構造である。このような構造であると、圧電素子8の伸縮力が作用したときに、支持アーム5に対する応力が緩和されて、各支持アーム5に対する駆動力が均一化される。

【0078】(第2の実施形態) 図4は第2の実施形態に関するヘッドアクチュエータ機構の側面図である。

【0079】第2の実施形態は、補助アクチュエータを構成する2個の圧電素子8a、8bを、機構の上下方向の重心位置から同じ距離に配置した構造である。なお、他の構成は、前述の第1の実施形態と同様である。

【0080】したがって、第2の実施形態の作用効果も、前述の第1の実施形態と同様であり、圧電素子8a、8bの伸縮力の作用により、各支持アーム5を一体的に駆動することができる。この場合、各圧電素子8a、8bを、各支持アーム5の駆動特性を均一化させる位置に配置することにより、各支持アーム5の移動特性の均一化を向上させることが可能となる。

【0081】(第3の実施形態) 図5は、第3の実施形態に関するヘッドアクチュエータ機構の要部を示す平面図である。

【0082】第3の実施形態は、補助アクチュエータを構成する圧電素子8を、アクチュエータ本体6の回転中心6aとヘッド3とを結ぶ線に対して、反対方向に配置した構造である。なお、他の構成および補助アクチュエータの駆動に関する作用効果は、前述の第1の実施形態と同様である。

【0083】ここで、近年では、HDDの高記録密度化を実現する技術として、ヘッド3を再生専用のMR(magnetoresistive)ヘッドと記録用の誘導型薄膜ヘッドとを組み合わせた記録再生分離型ヘッドが注目されている。

【0084】MRヘッドは、ディスクの周速に依存しないで、高出力を得られるなどの優れた特性を有するため、高記録密度化を実現するための主要素である。

【0085】しかし、MRヘッドからのリード信号を伝送する信号線が長い場合、外部からの電気ノイズの増加や、インダクタンスの増加によるローパスフィルタ特性により、MHz以上の高周波帯域で使われるリード信号の品質劣化が発生する問題がある。このため、MRヘッドに接続されるリード信号線50を短縮化させて、FPC104を回路基板103上のヘッドアンプに接近させることが望ましい。

【0086】そこで、本実施形態のように、圧電素子8をFPC104の取付け側から反対側に配置させること

により、FPC104とヘッドアンプとの距離の短縮化を図り、かつリード信号に対する圧電素子84による電気ノイズを低減させることが可能となる。

【0087】(第4の実施形態) 第4の実施形態は、前述の第1の実施形態のヘッドアクチュエータ機構において、主要アクチュエータと補助アクチュエータの駆動制御方式に関する。

【0088】図6は本実施形態の駆動制御方式のフィードバック制御系のブロック図である。制御系の入力信号Eは、ヘッド3の目標位置に対する位置誤差を示す位置誤差信号である。この位置誤差信号は、ディスクのサーボエリアに予め記録されたサーボデータ(速度制御用のシリンダ番号と位置制御用のバーストデータ)に基づいて生成される。

【0089】この位置誤差信号Eは、補償器31を介して主要アクチュエータの駆動部(伝達特性P1(S)と表現する)32に入力される。主要アクチュエータの駆動部32は、入力された位置誤差信号Eに基づいて駆動する。

【0090】一方、位置誤差信号Eは、反転アンプ35により位相が逆相にされて、ゲイン部(K)33により所定のゲインKを掛けられて、補助アクチュエータの駆動部(伝達特性P2(S)と表現する)34に入力され*

*る。このとき、反転アンプ35は、100Hz~1KHzの低周波数領域での位相を逆相にする。

【0091】主要アクチュエータの駆動部32と補助アクチュエータの駆動部34の各出力の加算結果に基づいて、ヘッド3が目標位置まで移動制御されることになる。即ち、ヘッド3の目標位置に対する位置誤差をなくすように、ヘッド3はディスク上の半径方向に移動し、目標位置であるトラックから外れないように位置決めされる。

【0092】このようなフィードバックループを形成した駆動制御方式により、ヘッドアクチュエータ機構全体の機械的主共振振動モードを打ち消して、ヘッド3を目標位置に高精度に位置決めすることができる。

【0093】以下に、前述の簡易モデル(図17)と式(3)、(4)を参照して、本実施形態の制御系の動作原理について述べる。

【0094】図18と式(3)、(4)に基づいて、主要アクチュエータによるヘッド変位の伝達特性P1(S)と、補助アクチュエータによるヘッド変位の伝達特性P2(S)を以下のような2次遅れ系の形に変形する。

【0095】

【数5】

$$P1(S) = K1 \frac{1}{S^2} + \frac{A1}{(S^2 + 2\zeta\omega_0 S + \omega_0^2)} \quad \dots\dots (5)$$

【0096】

※ ※ 【数6】

$$P2(S) = K2 \frac{A2}{(S^2 + 2\zeta\omega_0 S + \omega_0^2)} \quad \dots\dots (6)$$

【0097】ここで、 ω_0 はアクチュエータ機構全体の機械的主共振モードの角振動数(rad/sec)で、 ζ はモーダルダンピング定数を示す。また、主要アクチュエータの駆動部32での応答ゲインをK1、また主共振モードでの一種の励振係数をA1、補助アクチュエータの駆動部34での応答ゲインをK2、主共振モードでの一種の励振係数をA2とする。なお、励振係数は力点から出★

★力点までの係数を意味する。

【0098】ところで、図6のブロック図の点線で囲った領域のように、駆動部32の伝達特性P1と駆動部34の伝達特性P2とを一つの駆動部Pとして想定した場合に、以下のような関係式(7)、(8)が成立する。

【0099】

【数7】

$$P(S) = P1(S) + KP2(S) \quad \dots\dots (7)$$

これをまとめると

【0100】

☆40☆ 【数8】

$$P(S) = K1 \frac{1}{S^2} + \frac{1}{(S^2 + 2\zeta\omega_0 S + \omega_0^2)} (K1A1 + K2A2) \quad \dots\dots (8)$$

【0101】ここで、角振動数 ω_0 でのアクチュエータ機構全体の機械的主共振によるゲインを0にすれば、ヘッドは高帯域までゲイン上のピークが無くなる。

◆る。

【0103】

【数9】

【0102】この条件は、以下のようにすれば成立す ◆

$$K1A1 + K2A2 = 0 \quad \dots\dots (9)$$

すなわち、ゲインKを以下のように設定すれば良い。

【0104】

50 【数10】

$$K = - \frac{K1A1}{K2A2}$$

..... 00

【0105】前記式(10)によりゲインKを算出し、P(S)の伝達特性を図7(A), (B)に示す。この図7(A), (B)から明らかなように、図18で見られた、アクチュエータ全体の機械的共振モードによる3 KHz付近の鋭いピークがなくなっている。

【0106】以上のように、ゲインKを式(10)により求めれば、主要アクチュエータの駆動により発生するアクチュエータ機構全体の機械的共振モードを、補助アクチュエータの駆動によりキャンセルすることが可能となる。また、この駆動制御方式の利点として、機械的共振モードの周波数 ω_0 やダンピング ζ は、主要アクチュエータと補助アクチュエータの双方から同一となる。

【0107】図8は、前述の第1の実施形態のヘッドアクチュエータ機構に関して、有限要素法構造解析の固有値解析ルーチンを用いて解析した、アクチュエータ機構全体の機械的共振モード図である。駆動コイルならびにコイル枠が大きく変形するモードで、この場合の機械共振周波数は3.6 KHzとなっている。

【0108】図9(A), (B)は、主要アクチュエータの駆動手段であるVCM2に対するヘッド伝達特性P1(S)の解析結果である。図9(C), (D)は、補助アクチュエータの駆動手段である圧電素子8に対するヘッド伝達特性P2(S)の解析結果である。3.6 KHzの周波数で、お互いに鋭いピーク(約30 dB程度の増加)があり、これは前述の図8の振動モードに起因するものである。

【0109】この結果から、ゲインKを求め、図6の点線で囲まれた部分の伝達特性P(S)を求めたのが、図10となる。図10と図9(A), (B)とを比較すると、図8の振動モードによる共振ピークがなくなっている。そして、この伝達特性は、低域(約30 Hz)付近から、-40 dB/decで減少し、ほぼ5 KHz付近まで大きなピークがない特性となっている。このような機能的な伝達特性が得られると、サーボ系のゲインクロス周波数を高くすることができる。即ち、高周波数帯域まで、ヘッドがディスク上の目標トラックに追従することができる。したがって、ヘッド位置決め精度を向上し、ディスク上のトラックピッチを小さくして結果的に記憶容量の増大化を実現できることになる。

【0110】(第5の実施形態)第5の実施形態は、前述の第4の実施形態の駆動制御方式をマイクロプロセッサ(MPU)を使用したデジタル制御方式に適用した場合の応用例である。

【0111】デジタル制御方式では、図11に示すように、ヘッドにより読込まれた位置誤差信号Eは、A/D変換器37によりデジタルデータに変換されて、MPUに入力される。

【0112】MPUは内部構成として、デジタルフィ

ルタである補償器31を有する。即ち、補償器31はMPUのデジタルフィルタ演算処理に相当する。

【0113】この補償器31から出力されたデジタル制御出力はD/A変換器35aによりアナログ信号に変換されて、駆動アンプ36aにより増幅されて、主要アクチュエータの駆動部32に入力される。

【0114】一方、デジタル制御出力はD/A変換器35aによりアナログ信号に変換されて、ゲイン部33によりゲインKを掛けられて駆動アンプ36bにより増幅される。ここで、図示しないバタワースフィルタなどの高域フィルタにより、制御出力はDC成分をカットされる。駆動アンプ36bの出力は、補助アクチュエータの駆動部34に入力される。

【0115】ここで、MPUの内部では、デジタルフィルタにより高域フィルタを構成しているが、高域フィルタを外付けする方式も可能である。このようなMPUによる制御方式であれば、外付けのアンプ個数を減少でき、ゲインKの最適値を決定することが可能である。

【0116】(ゲインKの設定方法)次に、前記のゲインKの設定方法について、図12のフローチャートを参照して説明する。

【0117】ゲインKの値は、基本的には前記式(10)を用いて求めることができる。しかしながら、装置間でのばらつきや、経時変化ですれてくる可能性があるためにゲインKを自動的に設定する必要がある。

【0118】そこで、ゲインKをMPUの内部処理により決定するための算出方法を説明する。

【0119】まず、前記式(8)中のゲインK、並びにアクチュエータ機構本体の機械的共振周波数 ω_0 を、予め前述した構造解析手法または試作装置等により求めておく。このゲインKと共振周波数 ω_0 を初期条件として設定する(ステップS1)。

【0120】このゲインKに対して新初期値 $(1-\alpha_0) \times K$ を、MPUで算出する(ステップS3)。 α_0 は、0.6~0.0の範囲とするが、ここでは α_0 を0.6とする。

【0121】そして、MPU内部の補償器31の出力段に、 $(1-\beta) \times \omega_0 \sim (1+\beta) \times \omega_0$ の周波数範囲での $\omega_0/400$ 程度の周波数刻みで、補助アクチュエータにのみ一定値の正弦波信号を入力していく(ステップS4)。ここで、周波数刻みは1周期以上の周期で変化させていく。また β は、0.1~0.3程度とする。

【0122】この状態で、ヘッドからの位置誤差信号の分散値 E_n をMPUで計算し、内部メモリ上に蓄える。この後、前回の α_n 値に γ (この場合0.1とする)を差し引いた α_{n+1} 値で、前回と同じ周波数範囲で分散値 E_{n+1} を求める(ステップS5)。

【0123】前回の E_n と E_{n+1} の大きさを比較して、

E_n が小さくなるまで、 n 回繰り返し、 E_n が小さくなった時点の α_n 値を記憶する（ステップ S 6, S 10）。

【0124】さらに、細かくゲイン K を調整する際には、 r の値を前回の値の半分として、 α_{n-1} の状態から α_{n+1} の範囲で、新たに E_m を算出し、 E_{m+1} などと比較して、位置誤差信号の分散値が最小になるように、繰り返し演算を行い、最適なゲイン K を算出する（ステップ S 7 ~ S 9, S 11）。

【0125】この手法によって、装置間のばらつきによるゲイン K のばらつきを吸収することが可能となり、ヘッドを高精度に位置決めすることができる。

【0126】なお、前述の第 1 の実施形態から第 3 の実施形態は、本発明のヘッドアクチュエータ機構の構成に関するものであり、また、第 4 の実施形態から第 6 の実施形態はその駆動制御方式に関するものである。これらのヘッドアクチュエータ機構とその駆動制御方式とを組み合わせることにより、双方の相乗効果を得ることができるものである。

【0127】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、主要アクチュエータと補助アクチュエータとを備えた方式のヘッドアクチュエータ機構において、支持アームを一体的にかつ均一に微小移動させることができる。また、補助アクチュエータの特性のばらつきによる悪影響や制御方式の複雑化を解消することができる。したがって、高精度のヘッド位置決め動作を実現することができる。

【0128】さらに、本発明の駆動制御方式により、主要アクチュエータの駆動コイル側に起因する機械的主共振モードを、補助アクチュエータの駆動により打ち消すことができる。これにより、主要アクチュエータからのヘッド位置決め制御系の開ループ特性に、機械的主共振モードがなくなり、高周波数帯域までフラットな特性にすることができる。このために、高周波数帯域まで良好な位置決めサーボ系を実現できるため、結果的に高精度のヘッド位置決め動作を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に関するヘッドアクチュエータ機構の要部を示す平面図。

【図 2】第 1 の実施形態に関するヘッドアクチュエータ機構の要部を示す側面図。

【図 3】第 1 の実施形態に関する HDD の要部を示す平面図。

【図 4】第 2 の実施形態に関するヘッドアクチュエータ機構の要部を示す側面図。

【図 5】第 3 の実施形態に関するヘッドアクチュエー

タ機構の要部を示す平面図。

【図 6】第 4 の実施形態に関する駆動制御方式の制御系のブロック図。

【図 7】第 4 の実施形態に関する伝達特性を示す図。

【図 8】第 4 の実施形態に関する機械的共振モード図。

【図 9】第 4 の実施形態に関するアクチュエータ構造の伝達特性の解析結果図。

【図 10】第 4 の実施形態に関する伝達特性を示す図。

【図 11】第 5 の実施形態に関する制御系のブロック図。

【図 12】第 5 の実施形態に関するゲイン K の設定方法を説明するためのフローチャート。

【図 13】従来の HDD の要部を示す斜視図。

【図 14】従来のアクチュエータ機構に関する伝達特性図。

【図 15】従来のアクチュエータ機構に関する機械的共振モード図。

【図 16】従来のアクチュエータ機構を振動モデルとして表現した概念図。

【図 17】従来のアクチュエータ機構に関する伝達特性図。

【符号の説明】

1…ヘッドアクチュエータ機構

2…ボイスコイルモータ（VCM）

3…ヘッド（スライダ）

4…サスペンション

5…支持アーム

6…アクチュエータ本体

7…ヒンジ機構

8…圧電素子（補助駆動手段）

9…取り付け部材

101…ディスク

100…ケース

102…スピンドルモータ

103…回路基板

104…フレキシブルプリントケーブル（FPC）

31…補償器（デジタルフィルタ）

32…主要アクチュエータの駆動部

33…ゲイン部

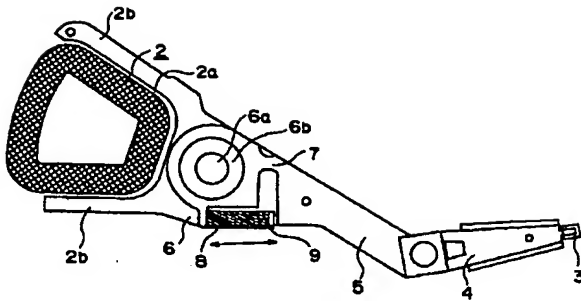
34…補助アクチュエータの駆動部

37…A/D変換器

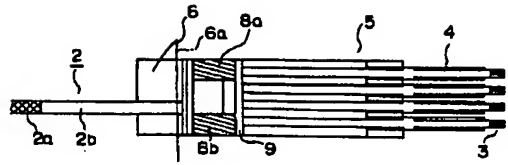
35a, 35b…D/A変換器

36a, 36b…駆動アンプ

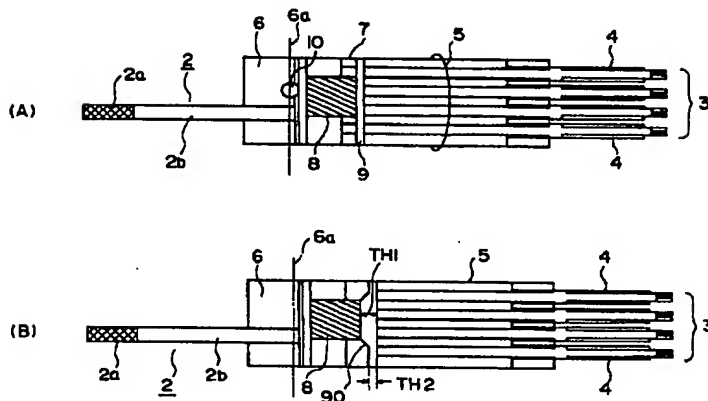
【図1】



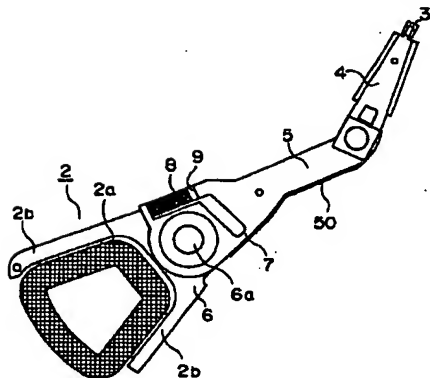
【図4】



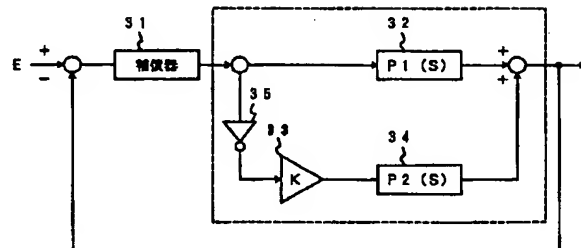
【図2】



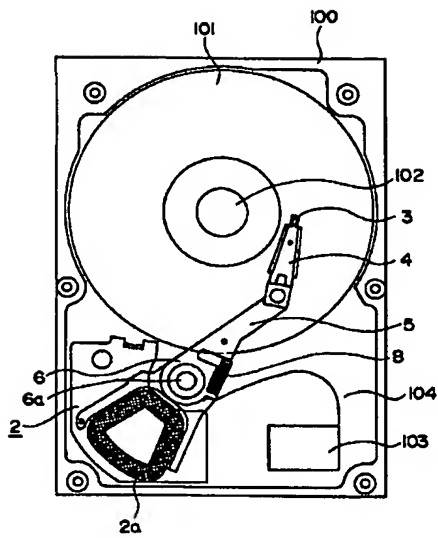
【図5】



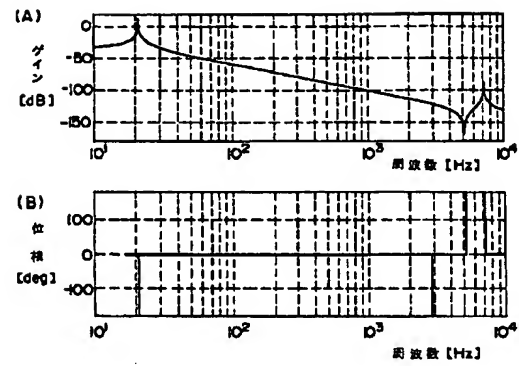
【図6】



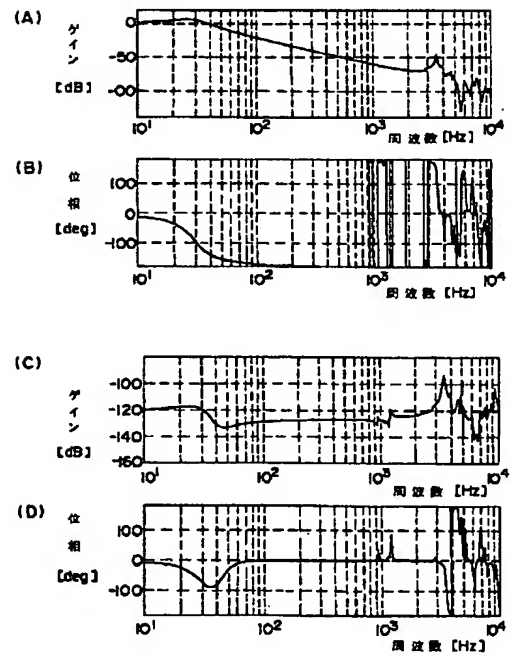
【図3】



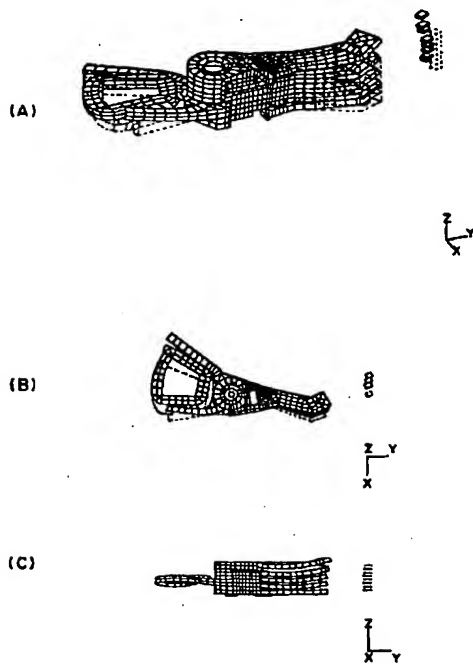
【図7】



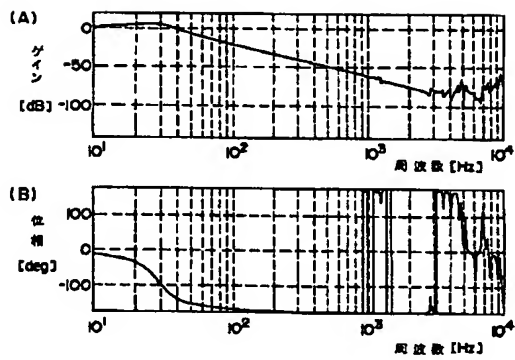
【図9】



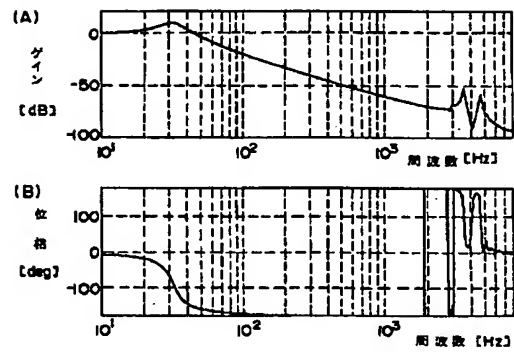
【図8】



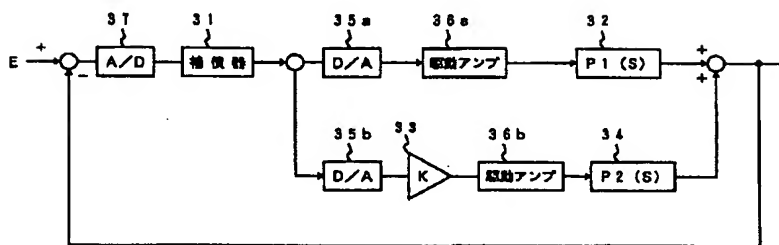
【図10】



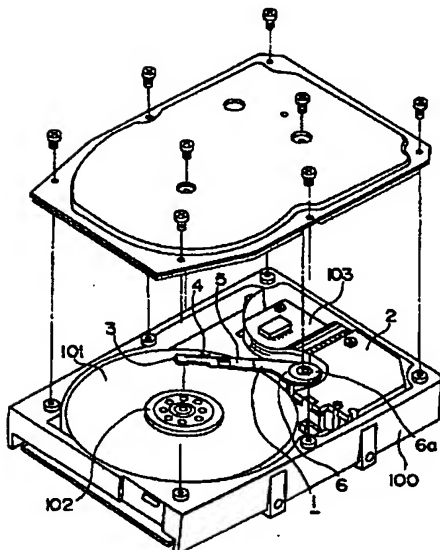
【図14】



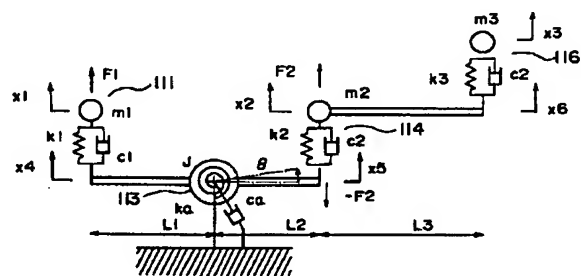
【図11】



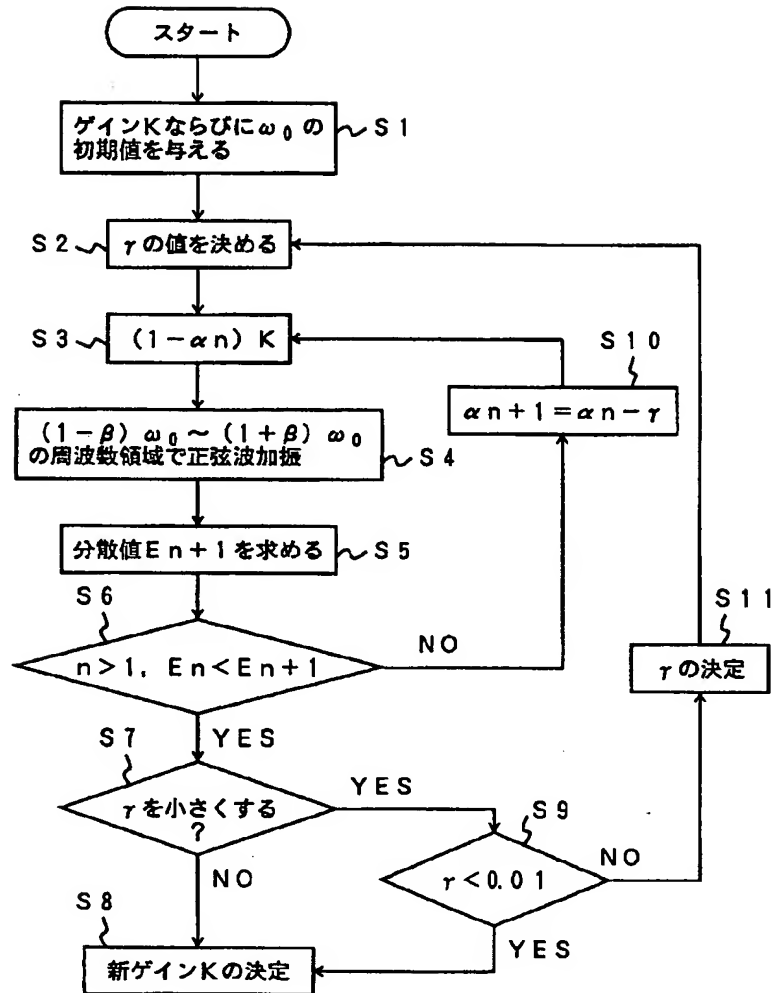
【図13】



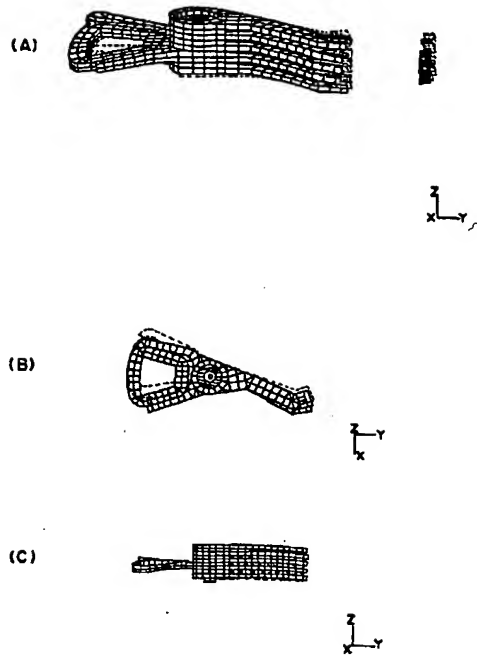
【図16】



【図12】



【図15】



【図17】

